

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

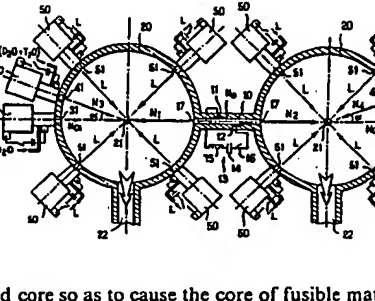
- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets ⁵ : <div style="text-align: center; font-weight: bold;">G21B 1/00</div>	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 91/16713 (43) Date de publication internationale: 31 octobre 1991 (31.10.91)
(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR91/00305 (22) Date de dépôt International: 12 avril 1991 (12.04.91) (30) Données relatives à la priorité: 90/04886 17 avril 1990 (17.04.90) FR (71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): AMPERE [FR/FR]; 22-28, rue Henri-Barbusse, F-92110 Clichy (FR). (72) Inventeurs; et (75) Inventeurs/Déposants (US seulement): VIGIER, Jean-Pierre [FR/FR]; 142, bd Masséna, F-75013 Paris (FR). RAMBAUT, Michel [FR/FR]; 57H, bd de la Hacquinière, F-91440 Bures-sur-Yvette (FR).		(74) Mandataire: RODHAIN, Claude; Cabinet Claude Rodhain, 30, rue La Boétie, F-75008 Paris (FR). (81) Etats désignés: AT (brevet européen), BE (brevet européen), CA, CH (brevet européen), DE (brevet européen), DK (brevet européen), ES (brevet européen), FR (brevet européen), GB (brevet européen), GR (brevet européen), IT (brevet européen), JP, LU (brevet européen), NL (brevet européen), SE (brevet européen), SU, US. Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i> <i>Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</i>
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PRODUCING FUSION ENERGY FROM A FUSIBLE MATERIAL</p> <p>(54) Titre: PROCEDE ET DISPOSITIF POUR PRODUIRE DE L'ENERGIE DE FUSION A PARTIR D'UNE MATIERE FUSIBLE</p> </div> <div style="width: 50%; text-align: right;">  </div> </div>		
(57) Abstract <p>The device comprises a combustion chamber (20); a tube (10) opening into said combustion chamber; devices for inserting a core of fusible material into said tube, such as submerged arc guns (30) simultaneously ejecting two half-cores of fusible water (N₀₁, N₀₂) respectively towards the two opposite ends (17, 17) of the tube; a device (11, 12, 13) for applying, to the core of fusible material in the tube, a pulsed electrical current discharge which produces therein an electrodynamic pressure which causes it to be expelled (N₁, N₂) at hyperspeed out of the tube and into the combustion chamber; a device (40) for placing a mass of fusible material (N₃, N₄) on the trajectory of said core so as to cause the core of fusible material and the mass of fusible material to collide and set off a fusion reaction; and a device for collecting the energy thereby produced.</p>		
(57) Abrégé <p>Le dispositif comprend: une chambre de combustion (20), un tube (10), débouchant dans cette chambre de combustion, des moyens pour introduire dans ce tube un noyau de matière fusible, par exemple des canons à arc dans l'eau (30) éjectant simultanément deux demi-noyaux d'eau fusible (N₀₁, N₀₂) en direction des deux extrémités opposées respectives (17, 17) du tube, des moyens (11, 12, 13) pour appliquer au noyau de matière fusible dans le tube une décharge impulsionnelle de courant électrique produisant au sein de celui-ci une pression électrodynamique provoquant son expulsion (N₁, N₂) en hypervitesse, hors du tube, dans la chambre de combustion, des moyens (40) pour placer un volume de matière fusible (N₃, N₄) dans la trajectoire du noyau ainsi expulsé, de manière à faire entrer en collision le noyau de matière fusible et le volume de matière fusible pour déclencher une réaction de fusion, et des moyens pour récupérer l'énergie produite par cette réaction de fusion.</p>		

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Autriche	ES	Espagne	MG	Madagascar
AU	Australie	FI	Finlande	ML	Mali
BB	Barbade	FR	France	MN	Mongolie
BE	Belgique	GA	Gabon	MR	Mauritanie
BF	Burkina Faso	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
BG	Bulgarie	GN	Guinée	NL	Pays-Bas
BJ	Bénin	GR	Grèce	NO	Norvège
BR	Brazil	HU	Hongrie	PL	Pologne
CA	Canada	IT	Italie	RO	Roumanie
CF	République Centrafricaine	JP	Japon	SD	Soudan
CG	Congo	KP	République populaire démocratique de Corée	SE	Suède
CH	Suisse	KR	République de Corée	SN	Sénégal
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SU	Union soviétique
CM	Cameroun	LK	Sri Lanka	TD	Tchad
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TG	Togo
DE	Allemagne	MC	Monaco	US	Etats-Unis d'Amérique
DK	Danemark				

**Procédé et dispositif pour produire
de l'énergie de fusion à partir d'une matière fusible**

5 La présente invention concerne un procédé et un dispositif pour produire de l'énergie de fusion à partir d'une matière fusible.

Par « matière fusible », on entendra une matière formée d'un milieu dense ou condensé contenant des ions et des électrons libres (par opposition à un plasma ou un gaz, où prédominent les interactions pures par collisions), typiquement un milieu liquide dans des conditions normales de température et de pression, et où se trouvent des noyaux susceptibles, une fois le milieu mis en condition, de réagir entre eux par un phénomène de fusion nucléaire.

10 Cette matière fusible peut — par exemple — être constituée d'eau lourde D_2O , d'un mélange d'eau lourde D_2O et d'eau tritiée T_2O , ou d'autres composés très variés ; on notera que, selon les cas, la matière fusible peut avoir soit une grande résistivité (comme l'eau lourde), soit une faible résistivité (par exemple dans le cas d'un composé tel qu'une solution de lithium dans l'ammoniaque lourde, de formule approximative $Li(ND_3)_4$).

20 Les techniques qui ont jusqu'à présent été explorées dans l'espoir de produire de façon contrôlée une énergie de fusion reposaient toutes, essentiellement, sur la production d'un plasma chaud dont on espérait qu'il s'y produirait suffisamment de collisions internes pour que tous les ions finissent par entrer en collision avec des énergies proches de celle correspondant au maximum du produit $\langle \sigma v \rangle$, σ étant la section efficace et v étant la vitesse relative des particules entrant en collision.

30 L'une des techniques essayées consiste à tenter de confiner un plasma assez chaud durant un temps assez long de façon à satisfaire le critère de Lawson, les réalisations les plus importantes étant les tokamaks. L'autre technique est celle de l'implosion inertielle d'une masse de matière fusible à l'aide d'un faisceau laser ou bien d'un faisceau de particules chargées, typiquement d'ions légers.

35 Ces diverses voies de recherche n'ont cependant pas jusqu'à présent abouti à la production d'une énergie de fusion, ne serait-ce

2

qu'au stade expérimental.

La présente invention propose de produire de l'énergie de fusion en s'appuyant sur un concept différent, qui n'a jusqu'à présent été étudié que sous l'aspect théorique ou au niveau de la physique des particules, et qui est celui de la fusion par impact.

L'idée de base de la fusion par impact consiste à envoyer sur une cible formant un volume macroscopique de matière fusible (ci-après dénommée « volume de matière fusible ») un autre volume de matière fusible (ci-après dénommé « noyau de matière fusible »), accéléré jusqu'à une vitesse (ci-après dénommée « hypervitesse ») permettant de vaincre les forces de Coulomb entre les ions de matière fusible (^+D , ^+T , 3He , etc.). Cet impact permet, grâce à une transformation localement totale du milieu fusible en noyaux d'hélium 4He , en protons et en neutrons, la création d'une onde de détonation thermonucléaire.

Ce concept d'onde de détonation thermonucléaire a été développé notamment par Friedwart Wittenberg dans deux articles intitulés *Thermonuclear Detonation Waves*, publiés dans *Atomkernenergie-Kerntechnik*, Bd. 39 (1981), Lfg. 3 (1^{re} partie) et Lfg. 4 (2^e partie).

La mise en œuvre de réactions de fusion D-D par collision a été réalisée à l'échelle de petits agrégats comprenant quelques centaines de molécules de D_2O par R. J. Beuhler, G. Friedlander et L. Friedman, qui ont relaté cette expérience dans un article paru dans *Physical Review Letters*, volume 63, n° 12 du 18 septembre 1989, page 1292 et intitulé *Cluster-Impact Fusion*.

Cette expérience consistait à produire, au moyen d'une source d'ions (accélérateur de particules), des agrégats de molécules d'eau lourde ionisés portant chacun une charge élémentaire positive, ces ions étant accélérés de manière à leur faire frapper une cible de deutériure de titane. L'intérêt principal de cette expérience est qu'elle montre (à l'échelle des particules) que l'existence d'agrégats ionisés de molécules d'eau lourde permet d'obtenir des réactions de fusion à une vitesse d'impact bien plus faible que par impact de tritons (et *a fortiori* de deutons) simples, la section efficace étant alors, selon ce document, supérieure de dix ordres de grandeur (dix décades) à celle

3

correspondant à des collisions D-D. Ainsi, pour des agrégats de 150 deutons accélérés à une vitesse de 145 km/s, il a été possible d'obtenir des réactions de fusion alors que, dans le cas d'une collision D-D, une vitesse de 760 km/s aurait été nécessaire pour déclencher une réaction de fusion, comme établi notamment par F. Winterberg dans *Implosion of a Dense Plasma by Hypervelocity Impact*, in *Plasma Physics*, vol. 10, 55, 1968.

Une extrapolation à l'échelle macroscopique de ce concept de fusion par impact a été proposée par F. Winterberg dans *Circular Magnetic Macroparticle Accelerator for Impact Fusion*, in *Nuclear Fusion*, vol. 30, n° 3 (1990). Dans ce document, l'auteur estime que l'on pourrait arriver à déclencher des réactions de fusion en frappant une cible de matière fusible par un projectile macroscopique accéléré à une vitesse minimale estimée à 200 km/s seulement. Il estime également qu'à ces niveaux de vitesse les canons-rails et dispositifs semblables ne sont pas envisageables, et que l'option à étudier est celle d'un accélérateur magnétique circulaire de grandes dimensions (circonférence estimée à 10 km) produisant au moyen de dispositifs supraconducteurs une onde progressive magnétique susceptible d'accélérer un projectile magnétique jusqu'en hypervitesse.

Cette manière de réaliser la fusion par impact, outre son caractère purement conjectural, nécessiterait un appareillage excessivement complexe qui en réduirait certainement beaucoup l'intérêt à l'échelle industrielle.

La présente invention propose de produire de l'énergie de fusion à l'échelle macroscopique à partir du concept de fusion par impact, mais en utilisant, pour amener en hypervitesse le projectile de matière fusible, des moyens entièrement différents des systèmes complexes et coûteux qui avaient été expérimentés ou imaginés jusqu'à présent à cet effet.

Cette invention s'appuie sur diverses expériences, dont celle de Beuhler et al. (*supra*), ainsi que sur les concepts relatifs aux réactions de fusion que l'on peut déduire de ces expériences.

Il apparaît en effet que la fusion entre noyaux légers est possible sur le plan macroscopique à des énergies très inférieures à celles qui

4

sont estimées nécessaires à partir des mesures de sections efficaces déduites de collisions entre particules obtenues à l'aide d'accélérateurs d'ions.

5 Les sections efficaces donnant cette nouvelle possibilité sont vraisemblablement dues à la collision entre ions légers et atomes (ou molécules) contenant des noyaux légers. Les électrons liés à l'atome (ou à la molécule) abaissent la barrière de potentiel qui existe entre l'ion incident et l'ion lié à l'atome (ou à la molécule), et l'on obtient ainsi des collisions ion-ion produisant des réactions nucléaires, alors
10 qu'entre noyaux légers la barrière coulombienne ne devient pratiquement franchissable que pour des énergies d'ion incident de l'ordre de quelques dizaines de keV pour des collisions D-T, et de l'ordre du MeV pour des collisions D-D. C'est un tel phénomène de collision entre deutons ^2D et molécules qui, vraisemblablement, s'est produit
15 dans les expériences faites par Beuhler et al.

Le moyen choisi pour accélérer un volume macroscopique de matière fusible, constitué de façon typique d'eau lourde, provient de la tentative d'explication théorique d'un certain nombre d'expériences de décharge électrique dans l'eau, relatées par P. Graneau notamment dans une communication au 1988 *International Tesla Symposium* de Colorado College en juillet 1988, intitulée *Space Disposal of Weapon-Grade Plutonium with the Water-Arc Launcher*, ainsi que dans une communication de P. Graneau et al. au 4th *Symposium on Electromagnetic Launch Technology*, University of Texas, avril
20 1988, intitulée *Electrodynamic Water Arc Gun*.
25

Ces documents présentent en particulier un dispositif appelé « canon à arc dans l'eau » (*water-arc gun*), illustré schématiquement figure 1, comprenant essentiellement un tube métallique 1 formant canon, contenant de l'eau 2 et un projectile 3. Une électrode 4 est placée au fond du tube 1 et reliée à l'une des électrodes 5 d'un banc de condensateurs (formant typiquement une capacité de quelques microfarads chargée à quelques dizaines de kilovolts), dont l'autre électrode 6 est reliée au tube métallique 1. Un bloc en verre époxy armé assurait l'isolement électrique entre le tube métallique 1 et
30 l'électrode 4. Lorsque l'on décharge le banc de condensateurs, le pas-
35

5

sage du courant dans le milieu liquide constitué par le volume d'eau créée dans ce milieu une pression interne considérable, qualifiée de « pression électrodynamique », pouvant éjecter le projectile à des vitesses de propulsion de plusieurs centaines de mètres par seconde : en effet, la version de laboratoire décrite dans le document précité permet d'atteindre une pression estimée à 2675 bars pour un canon de 1,25 cm de diamètre et de 10 cm de longueur).

De façon surprenante, le noyau d'eau reste froid, ce qui exclut toute possibilité de rendre compte par la thermodynamique de l'énergie cinétique acquise par le projectile.

Par ailleurs, on constate que la cohésion du noyau d'eau reste telle que celui-ci peut, en tant que tel, faire office de projectile et percer sans difficulté des plaques métalliques de plusieurs millimètres d'épaisseur.

Pour expliquer le fonctionnement du canon à arc dans l'eau, et donc comprendre et pouvoir utiliser et maîtriser les fortes pressions qu'il permet de générer, la voie la plus satisfaisante semble être celle de l'explication par l'action de la force d'Ampère entre éléments de courant.

En effet, ce concept de la « force d'Ampère » avait été proposé au siècle dernier (voir notamment A.-M. Ampère, *Mémoire sur la détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques*, lu à l'Académie des Sciences le 10 juin 1822) sur des bases empiriques, mais son existence n'avait pas été confortée par la théorie, compte tenu en particulier du fait que l'on avait jusqu'à présent cru qu'elle contredisait les lois de Maxwell.

Il existe *a priori* deux hypothèses de forces électrodynamiques : les forces du type Lorentz ou bien celles du type Ampère.

Entre deux éléments de courant de longueurs $d\vec{m}$ et $d\vec{n}$, la force électrodynamique de Lorentz n'obéit pas au postulat de Newton impliquant l'égalité de l'action et de la réaction, $\Delta F_{m,n}$ étant différent de $\Delta F_{n,m}$:

$$\Delta \vec{F}_{m,n} = (i_m i_n / r_{m,n}^3) d\vec{m} \wedge (d\vec{n} \wedge \vec{r})$$

$$\vec{\Delta F}_{n,m} = (i_m i_n / r_{m,n}^3) \vec{dn} \wedge (\vec{dm} \wedge \vec{r})$$

En revanche, la formule phénoménologique qu'Ampère établit en 1820 obéit au postulat de l'action et de la réaction. Ce concept avait été proposé au siècle dernier sur des bases empiriques (voir notamment A.-M. Ampère, *Mémoire sur la détermination de la formule qui représente l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques*, lu à l'Académie des Sciences le 10 juin 1822), mais son existence n'avait pas été confortée par la théorie, compte tenu en particulier du fait que l'on avait jusqu'à présent cru qu'elle contredisait les lois de Maxwell.

Si l'on considère les deux éléments de courant $i_m \cdot dm$ et $i_n \cdot dn$, la force d'Ampère s'exprime par :

$$\Delta F_{m,n} = - \frac{i_m \cdot dm \ i_n \cdot dn}{r^2} (2 \cos \epsilon - 3 \cos \alpha_m \cos \alpha_n),$$

les angles α_m , α_n et ϵ étant ceux définis par la figure 2, qui décrit les positions relatives des deux éléments de courant.

Les lois proposées par Ampère permettaient d'explicitier les forces mises en jeu entre les éléments de courant. Elles viennent de se révéler parfaitement compatibles avec la théorie de la Relativité (force de Lorentz). On se référera à cet égard aux articles de M. Rambaut et J. P. Vigier, intitulés *The Simultaneous Existence of EM Grassmann-Lorentz Forces (Acting on Charged Particles) and Ampère Forces (Acting on Charged Conducting Elements) Does not Contradict Relativity Theory*, publié dans *Physics Letters A*, Vol. 142, n°8-9 du 25 décembre 1989, pp. 447 sq. et *Ampère Forces Approximation Considered as Collective Non-Relativist Limit of the Sum of All Lorentz Interactions Acting on Individual Current Elements : Possible Consequences for Electromagnetic Discharge Stability and Tokamak Behaviour*, publié dans *Physics Letters A*, Vol. 148, n°5 du 20 août 1990, pp. 229 sq. ; dans un troisième article, de M. Rambaut, à paraître en avril 1991 dans *Physics Letters A*, il est

montré que l'on peut obtenir directement l'expression de la force de Weber, qui est une autre forme de la réalité décrite par la force d'Ampère, en tenant compte de l'accélération relative des électrons de conduction.

5 Il découle de ces articles que la force d'Ampère est la manifestation macroscopique de la nature complexe d'un élément de courant, que l'on ne peut assimiler à une collection d'électrons, pour déterminer son action à distance, comme cela avait jusqu'à présent été fait depuis le début du vingtième siècle.

10 La formule d'Ampère exprime l'effet collectif dû aux électrons et aux ions du milieu conducteur, le seul que l'on puisse détecter à l'extérieur de l'élément de courant. L'élément de courant, au sens de l'électrodynamique, est une entité macroscopique, comprenant un nombre assez grand d'ions et d'électrons pour que l'effet collectif se produise. Au niveau microscopique en revanche, la force de Lorentz est bien la force élémentaire entre particules chargées.

15 D'autres expériences faites au Massachusetts Institute of Technology à Boston ont montré que la force électrodynamique s'exerçait aussi dans un milieu liquide non conducteur après que celui-ci ait été suffisamment ionisé pour laisser passer du courant électrique.

20 Toutefois, par comparaison avec le cas d'un courant passant dans un milieu conducteur, cette force F était amplifiée d'un facteur k tel que :

25
$$F = \mu_0 k I^2,$$

30 k atteignant une valeur de l'ordre de 5.10^3 à 6.10^3 (voir l'article de P. Graneau et P. N. Graneau paru dans *Appl. Phys. Letters*, 46(5) du 1^{er} mars 1985, ainsi que celui de R. Azvedo et al. paru dans *Physics Letters A*, Vol. 117, n°2 du 28 juillet 1986).

Il résulte de ces calculs que la force d'Ampère est en fait constituée par la limite non relativiste des forces d'Einstein-Lorentz et qu'elle n'est pas incompatible avec l'existence de la force de Lorentz, contrairement à ce que l'on avait toujours estimé jusqu'à présent.

35 Dans un même milieu conducteur, la force d'Ampère produit en

particulier une attraction transversale entre éléments de courant parallèles et une répulsion longitudinale entre éléments de courant colinéaires.

5 Dès lors, si l'on suppose que la force d'Ampère s'applique à des éléments de courant délimités par une surface cylindrique de section élémentaire perpendiculaire à la vitesse de déplacement moyenne des électrons, on aura une déformation de la sphère de Fermi (représentative de la répartition de vitesse des ions dans le milieu liquide) sous l'action du potentiel appliqué aux bornes du circuit.

10 On peut démontrer alors que la force d'Ampère est tout à fait en accord avec la réalité expérimentale, notamment la loi, jusqu'à présent empirique, selon laquelle l'intégrale en fonction du temps de la force qui s'exerce dans le milieu liquide est proportionnelle au carré de la valeur crête du courant traversant ce milieu.

15 Ainsi, dans le dispositif proposé par Graneau illustré figure 1, les forces longitudinales entre deux éléments de courant situés sur le même axe s'exercent vers la bouche du tube pour la partie de la masse liquide la plus proche du projectile, et vers le fond du tube pour la partie de la masse liquide la plus éloignée du projectile.
20 Compte tenu de l'expression de la force d'Ampère, il existe ainsi au milieu de la masse liquide un point de force longitudinale nulle, si bien qu'approximativement la moitié de la masse liquide exerce une force sur le fond du tube.

25 De surcroît, il existe aussi une force d'attraction entre les éléments de courant parallèles, si bien que le milieu liquide est comprimé autour de son axe (effet de striction), ce qui explique la cohésion extrême du noyau d'eau projeté.

Toujours compte tenu de l'expression de la force d'Ampère, on voit que, pour maximiser l'efficacité de propulsion, il est nécessaire
30 que les lignes de courant soient, sur la plus grande longueur possible, essentiellement parallèles à l'axe du tube — et ce, à l'opposé des considérations de Graneau qui estimait, dans le document précité, que le diagramme des lignes de courant idéal devrait correspondre à une orientation transverse par rapport à la direction d'accélération du projectile.
35

L'idée-mère de la présente invention⁹ consiste à utiliser comme milieu liquide recevant la décharge électrique à haute intensité non plus de l'eau H_2O mais de l'eau lourde D_2O , un mélange d'eau lourde D_2O et d'eau tritiée T_2O , ou un autre corps composé contenant des noyaux fusibles (c'est-à-dire une « matière fusible » au sens explicité *supra*) et d'utiliser la pression considérable développée par la décharge pour accélérer en hypervitesse ce noyau de matière fusible et lui faire frapper une cible de matière fusible (eau lourde D_2O , eau tritiée T_2O , mélange d'eau lourde et d'eau tritiée, deutérure de titane TiD , trituration de titane TiT , etc.) de manière à déclencher une réaction de fusion par impact du noyau de matière fusible contre le volume de matière fusible.

Plus précisément, le procédé de l'invention consiste, essentiellement, à : introduire dans un tube un noyau liquide de matière fusible ; appliquer à ce noyau de matière fusible une décharge impulsionnelle de courant électrique produisant au sein de celui-ci une pression électrodynamique provoquant son expulsion en hypervitesse hors du tube ; faire entrer le noyau ainsi expulsé en collision avec un volume de matière fusible pour déclencher une réaction de fusion ; et récupérer l'énergie produite par cette réaction de fusion.

On notera que la fusion obtenue par mise en œuvre du principe de l'invention est une fusion « froide », dans la mesure où il n'est absolument pas nécessaire d'élever la température du noyau de matière fusible ni du volume de matière fusible à des valeurs considérables, comme on doit le faire lorsque l'on se base sur les concepts de confinement ou d'implosion inertielle ; l'invention permet en particulier de déclencher la réaction de fusion avec un noyau de matière fusible et un volume de matière fusible « froids », en phase liquide. En effet, on vainc la barrière de Coulomb empêchant le rapprochement des noyaux atomiques par le seul effet de l'hypervitesse, non par agitation thermique intense de la masse de matière fusible.

Dans le cas de la matière fusible précédemment définie, cette barrière coulombienne est abaissée, pour l'ion du noyau léger incident, par la présence des électrons liés à l'autre noyau léger.

Le noyau de matière fusible peut être introduit dans le tube par

10

injection dans celui-ci, en particulier par introduction simultanée de deux demi-noyaux à l'intérieur du tube par les deux extrémités opposées respectives de ce tube, cette introduction étant de préférence effectuée au moyen d'un canon à arc dans l'eau.

5 De même, le volume de matière fusible peut être amené au point de collision avec le noyau de matière fusible par éjection en direction de ce point, cette éjection étant de préférence, ici encore, effectuée au moyen d'un canon à arc dans l'eau.

10 Avantageusement, on forme un écran autour du point de collision du noyau avec le volume de matière fusible par éjection d'un liquide ralentisseur de neutrons en direction du point de collision, cette éjection étant de préférence effectuée au moyen d'une pluralité de canons à arc dans l'eau disposés en périphérie de la chambre de combustion.

15 La récupération de l'énergie peut être effectuée de plusieurs manières, en elles-mêmes connues, notamment : par voie thermodynamique, à partir de la source chaude constituée par le plasma produit par la réaction de fusion ; par voie magnétohydrodynamique, à partir du plasma éjecté produit par la réaction de fusion ; ou encore
20 par voie chimique, par dissociation d'eau en hydrogène et oxygène par le plasma produit par la réaction de fusion.

Pour mettre en oeuvre le procédé énoncé plus haut, l'invention propose un dispositif comprenant : une chambre de combustion ; un tube, débouchant dans cette chambre de combustion ; des moyens
25 pour introduire dans ce tube un noyau de matière fusible ; des moyens pour appliquer à ce noyau de matière fusible une décharge impulsionnelle de courant électrique produisant au sein de celui-ci une pression électrodynamique provoquant son expulsion en hypervitesse, hors du tube, dans la chambre de combustion ; des moyens
30 pour placer un volume de matière fusible dans la trajectoire du noyau ainsi expulsé, de manière à faire entrer en collision le noyau de matière fusible et le volume de matière fusible pour déclencher une réaction de fusion ; et des moyens pour récupérer l'énergie produite par cette réaction de fusion.

35 Selon une caractéristique avantageuse, la décharge impulsion-

11

nelle est appliquée par une paire de bornes isolées du tube et disposées aux deux extrémités de celui-ci sur des génératrices diamétralement opposées, de manière à produire au sein de la matière fusible introduite dans le tube des lignes de courant essentiellement orientées selon l'axe de celui-ci.

Dans une configuration préférentielle, le tube est ouvert à ses deux extrémités, débouchant de chaque côté sur une chambre de combustion, chacune des chambres de combustion possédant ses propres moyens pour placer un volume de matière fusible dans la trajectoire du demi-noyau respectif expulsé afin de déclencher par collision une réaction de fusion.

Par ailleurs, la corrélation que l'on peut faire entre trois types d'expériences utilisant de la matière fusible montre que les métaux en suspension dans la matière fusible, tels que le titane, ou contenant de la matière fusible, comme dans l'expérience de Brookhaven, ne jouent pratiquement pas de rôle dans le processus, contrairement à ce qui était estimé en 1989 lors de la vague de tentatives d'expériences de fusion froide (voir également G. Chambaud, B. Levy et J. G. Estève, *Estimation of Ti Effects on D-D Fusion*, à paraître dans *Physics Letters A*).

En effet, il existe un fait expérimental déterminant, qui n'a été mis en évidence que lors d'une expérience faite à Kiel en 1973 (voir W. Lochte-Holtgreven, *Nuclear Fusion in Very Dense Plasmas Obtained from Electrically Exploded Liquid Threads*, in *Atomkernenergie*, Bd. 28 (1976), Lfg. 3, 150). C'est en effet au cours de cette expérience que les variations du courant passant dans le milieu deutéré, contenu dans un tube capillaire, ont été enregistrées en fonction du temps, en même temps qu'un flot de neutrons. Il a été constaté, d'une part, que le courant présentait en fonction du temps d'abord un maximum relatif, puis un minimum et enfin un maximum absolu et que, d'autre part, le flux de neutrons se produisait entre le premier maximum relatif et le minimum, alors que le tube capillaire était intact.

Le calcul des termes $\langle \sigma v \rangle$ pour les trois séries d'expériences semblables précitées, dont celle de Kiel, à partir des valeurs des comp-

12
tages de neutrons, et celui de l'énergie des deutons en fonction de la
valeur moyenne du carré du courant, exprimée par :

$$(1/\Delta t) \int_0^{\Delta t} i^2 dt,$$

5
10 permet de placer, comme illustré figure 3, des points représentatifs dans le plan (LogE, Log< σv >), E étant l'énergie des deutons dans leur mouvement vers l'axe du tube capillaire. (l'intégrale est prise entre le début du passage du courant et l'apparition du flux de neutrons, la valeur moyenne de i^2 étant dénommée « valeur efficace du courant »).

15 Avec l'hypothèse de la force d'Ampère, les trois points A, B et C correspondant, respectivement, aux résultats de Kiel (1973, *supra*), du Naval Research Laboratory (1973, résultats publiés par F.C. Young, S.J. Stephanakis, I.M. Vitrovitski et D. Mosher, *IEEE* 20, n°1, février 1973, 439) et du Commissariat à l'Énergie Atomique (1957, résultats publiés par M. Bonpas, A. Ertaud, J.P. Legrand et R. Meunier, *J. de Phys. et le radium*, 18 (1957), 585) sont approximativement alignés, comme on peut le voir sur la figure 3.

20 Ils sont en outre alignés avec les points correspondants à des expériences faites en 1989, mais différentes de celles de fusion capillaire, les unes (point D) celles de fusion froide réalisées un peu partout sur la planète (voir par exemple l'article de G. Badurek, H. Rausch et E. Seidl in *Kerntechnik*, 54 (1989), n°3, pp.178-182),
25 les autres (point E) faites à Brookhaven en 1989 (voir R. J. Beuhler, G. Friedlander et L. Friedman, *Cluster-Impact Fusion, Physical Review Letters*, Vol. 63, n°12 du 18 septembre 1989, p. 1292 sq.), ces dernières expériences ayant consisté à créer dans une chambre à vide des agrégats de molécules d'eau lourde, ionisés une fois positivement, puis à les accélérer sur une cible en titane imprégnée d'eau
30 lourde.

35 En outre, la droite le long de laquelle tous les points A à E sont alignés se raccorde pour les hautes énergies, c'est-à-dire vers 10^6 eV, à la courbe des variations de < σv > en fonction de l'énergie des deutons pour les collisions D-D obtenues à l'aide d'accélérateurs de par-

13

ticules (courbe en trait plein repérée D-D sur la figure 3).

Ces résultats conduisent à tirer trois conclusions, de natures différentes :

- 5 • Premièrement, tout se passe comme si le produit $\langle \sigma v \rangle$ était proportionnel à l'énergie des deutons, et donc comme si la section efficace était proportionnelle à la vitesse de ces deutons. Pour les basses énergies (celles correspondant aux expériences de fusion capillaire citées), il est probable qu'il se produit un
10 phénomène d'abaissement de la barrière de potentiel entre les deutons par interposition d'un électron entre eux, phénomène qui a été prévu (voir par exemple M. Gryzinski, *Deterministic Theory of the Coulomb Barrier Tunneling*, publié dans les compte-rendus du congrès de mécanique quantique de Gdansk de 1989). Cependant, pour les hautes énergies, l'existence de
15 phénomènes relativistes rend improbable l'effet d'interposition d'un électron.
- Deuxièmement, si un phénomène différent d'une simple collision D-D ne s'était produit, il n'y aurait pas eu de réactions de fusion dans les expériences avec capillaires. On ne peut alors
20 que conclure que les expériences de fusion capillaire ont un caractère commun avec les expériences de fusion froide et celles de collisions d'agrégats de molécules d'eau lourde. Ce phénomène, différent de celui de la simple collision entre ions ^2D , est celui d'abaissement de la barrière de potentiel entre
25 deutons par interposition d'un électron.
- Troisièmement, on peut inférer de ce raisonnement qu'il doit exister aussi une droite représentant, dans le même dia-
gramme, les variations de $\text{Log}\langle \sigma v \rangle$ pour les réactions de fu-
sion D-T et se raccordant à la courbe obtenue par des colli-
30 sions à l'aide d'un accélérateur de particules (cette courbe, repérée D-T, a été également portée sur la figure 3).

◇

35 On va maintenant décrire un exemple de mise en oeuvre de

44
l'invention, en référence aux dessins annexés.

Sur ces dessins, outre les figures 1 à 3 précitées :

- les figures 4a à 4e illustrent le principe de l'éjection de la matière fusible par décharge électrique selon l'invention,
- 5 — la figure 5 est une vue schématique du dispositif de production d'énergie de fusion selon l'invention, et
- la figure 6 illustre en détail, à titre indicatif et non limitatif, une possibilité de structure de l'un des canons à arc dans l'eau utilisés par ce dispositif,
- 10 — la figure 7 illustre un mode de réalisation comprenant des dispositifs d'injection et d'aspersion d'eau complémentaires, et
- la figure 8 illustre, schématiquement, un mode de réalisation permettant la production en sortie d'un courant alternatif.

15

Comme on l'a indiqué plus haut, l'idée-mère de l'invention consiste à utiliser la force d'Ampère développée au sein d'un noyau de matière fusible pour éjecter celui-ci en hypervitesse contre une cible de matière fusible de manière à déclencher une réaction de fusion par impact.

20

Il s'agit de doser dans le temps l'alimentation en courant du milieu fusible afin de ne pas le placer, ou à la rigueur de le placer très peu, en condition de produire prématurément des réactions de fusion par action de la composante transverse de la force électrodynamique. En particulier, la pseudo-période du circuit d'alimentation en courant doit être relativement grande, et l'amplitude de crête du courant relativement faible, par rapport aux valeurs nécessaires pour créer des réactions de fusion par action directe de la force électromagnétique. Dans le cas de la présente invention, l'énergie nécessaire est plus importante, mais sa délivrance au milieu fusible ne nécessite qu'une technique de puissance pulsée plus lente, donc plus simple et plus classique.

25

30

La figure 4 illustre la manière, caractéristique de l'invention, de procéder à cette éjection en hypervitesse.

35

On fera tout d'abord abstraction ¹⁵ de la figure 4a, et l'on supposera que, initialement (figure 4b), on a introduit un noyau de matière fusible N_0 à l'intérieur d'un tube cylindrique isolant 10 pourvu de deux bornes conductrices 11, 12 en contact avec le noyau liquide N_0 ,
5 l'écartement des bornes étant choisi de manière à venir en contact avec ce dernier le plus près possible de ses extrémités,

Les deux bornes 11, 12 sont de préférence disposées sur des génératrices diamétralement opposées, ce qui permettra d'avoir des lignes de courant qui soient parallèles entre elles et à l'axe du tube
10 sur une plus grande longueur. Cette configuration est en effet préférable à celle où, par exemple, les électrodes seraient annulaires, car dans ce cas la majeure partie des lignes de courant se situerait au voisinage de la périphérie intérieure du tube, et non au centre de celui-ci comme avec la configuration proposée (on rappellera ici que
15 cette configuration selon laquelle, idéalement, les lignes de courant sont parallèles à l'axe du tube sur la plus grande longueur possible de celui-ci va à l'encontre des considérations de Graneau, qui estimait dans le document précité que le meilleur diagramme des lignes de courant devrait idéalement correspondre à une orientation transverse par rapport à la direction d'accélération du projectile).
20

La décharge impulsionnelle de courant (figure 4c) est obtenue au moyen d'une source d'énergie 13 comprenant par exemple un stockage capacitif 14 en série avec une inductance 15 et un dispositif de fermeture rapide du circuit 16, l'ensemble étant monté entre les
25 bornes 11 et 12.

Le stockage capacitif 14 est avantageusement constitué d'un générateur de Marx dans lequel, de façon en elle-même connue, une batterie de condensateurs est chargée progressivement en parallèle et déchargée brusquement en série. Quant à l'inductance 15 en série
30 avec le condensateur 14, elle sert à donner au courant de décharge l'allure d'une arche de sinuséide amortie de pulsation Ω voulue ; en d'autres termes, elle permet d'ajuster la constante de temps de la décharge de courant.

Cette décharge va provoquer au sein du noyau N_0 une pression électrodynamique intense, comme constaté par Graneau dans le
35

document précité.

Toutefois, le tube étant ouvert à ses deux extrémités, lors de la décharge le noyau N_0 se scinde en deux demi-noyaux N_1 et N_2 , comme illustré figure 4d.

5 Plus précisément, la partie de la masse liquide la plus proche de l'électrode 11 est expulsée par l'extrémité gauche du tube (avec les conventions du dessin), et la partie de la masse liquide la plus proche de l'électrode 12 est expulsée vers l'extrémité droite du tube.

10 On notera incidemment que, lors de la conception du circuit d'alimentation, il est nécessaire de ne pas choisir une valeur de pulsation Ω trop élevée (ce qui veut dire que l'inductance 15 devra avoir une valeur inférieure à une certaine limite) si l'on veut que la décharge du condensateur 14 soit complète, c'est-à-dire qu'elle intervienne en totalité avant le fractionnement complet du noyau en deux demi-noyaux (compte tenu de fait que la décharge peut se poursuivre un certain temps après la scission du noyau, du fait de l'arc créé entre les deux demi-noyaux).

15 En fin de décharge, les deux demi-noyaux N_1 et N_2 ont acquis des vitesses axiales égales et opposées pouvant atteindre, typiquement, des valeurs de l'ordre de 100 à 200 km/s (ces valeurs n'étant pas limitatives).

20 Il suffit alors (figure 4e) de faire entrer en collision ces demi-noyaux N_1 et N_2 avec des volumes de matière fusible N_3 et N_4 formant cibles pour produire au moment de la collision des réactions de fusion par impact.

25 On notera que les cibles de matière fusible N_3 et N_4 peuvent être de natures très variées, tant dans leur composition que dans la manière de les placer dans la trajectoire des noyaux de matière fusible N_1 et N_2 .

30 En particulier, les volumes de matière fusible N_3 et N_4 peuvent être eux-mêmes des noyaux éjectés en direction du tube depuis un point distant, à la rencontre des noyaux N_1 et N_2 . Néanmoins, la vitesse de ces noyaux N_3 et N_4 , même s'ils sont éjectés par des canons à arc dans l'eau, sera très faible (typiquement, de quelques
35 kilomètres par seconde, tout au plus) par rapport à celle des noyaux

17

N_1 et N_2 (typiquement, de 100 à 200 km/s), de sorte que la vitesse relative lors de la collision résultera essentiellement de la vitesse à laquelle auront été accélérés les noyaux N_1 et N_2 .

5 Bien entendu, les conditions de la décharge seront choisies de manière que la pression électrodynamique à l'intérieur du noyau N_0 reste assez modérée pour ne déclencher qu'un nombre négligeable de réactions de fusion au sein de ce noyau N_0 . Dans ce but, le noyau N_0 est par exemple constitué uniquement d'eau lourde, alors que les noyaux N_3 et N_4 qui reçoivent son impact peuvent être constitués
10 par exemple d'un mélange d'eau lourde et d'eau tritiée.

On notera également que l'on peut donner aux noyaux N_3 et N_4 , qui sont projetés à une vitesse bien inférieure, une masse plus importante que celle des noyaux N_1 et N_2 (qui ne servent en fait qu'à l'amorçage de la réaction).

15 Compte tenu des pressions considérables développées lors de la décharge, l'utilisation d'un tube ouvert à ses deux extrémités, expulsant donc deux demi-noyaux en sens inverse, apparaît nécessaire, l'utilisation d'un canon à arc dans l'eau du même type que celui proposé par Graneau ne pouvant pas résister aux pressions électro-
20 dynamiques considérables nécessaires pour atteindre les vitesses nécessaires, de l'ordre de 100 à 200 km/s. En revanche, cette configuration est parfaitement utilisable pour éjecter les noyaux N_3 et N_4 , qui sont expulsés à des vitesses beaucoup plus faibles, donc avec une décharge beaucoup moins énergétique.

25 D'autre part, bien que, dans le processus décrit, on utilise l'un et l'autre des noyaux N_1 et N_2 pour provoquer des réactions de fusion, on pourrait imaginer, bien que de façon moins avantageuse, de n'utiliser qu'un seul de ces noyaux pour frapper une cible. Néanmoins, outre le gaspillage inutile que constituerait la perte de la moitié de
30 la matière fusible, il serait nécessaire de placer un plastron suffisant pour absorber l'énergie cinétique considérable du demi-noyau non utilisé.

Pour pallier la difficulté qu'il peut y avoir à obtenir initialement (figure 4b) une forme de noyau N_0 allongée et proche de la symétrie
35 par rapport à l'axe du tube 10, donc se prêtant bien à la propulsion

12

en hypervitesse vers les cibles de matière fusible, on peut avantageusement former ce noyau N_0 en injectant simultanément dans le tube, à chacune de ses deux extrémités, deux demi-noyaux N_{01} et N_{02} , comme illustré figure 4a.

5 Ces demi-noyaux N_{01} et N_{02} , éjectés en direction l'un de l'autre à des vitesses identiques, vont pénétrer dans le tube et se rencontrer au centre de celui-ci pour former le noyau N_0 , après quoi on pourra déclencher la décharge impulsionnelle de courant.

10 Cette injection des demi-noyaux N_{01} et N_{02} peut être réalisée par des canons à arc dans l'eau de petit calibre ; la vitesse d'éjection peut être quelconque, même très faible, le seul point important étant de développer une force d'Ampère suffisante pour permettre, par effet de striction, une cohésion satisfaisante des projectiles formés par les noyaux N_{01} et N_{02} .

15 Ce mode d'injection du noyau N_0 dans le tube n'est cependant pas limitatif, et d'autres solutions pourraient être envisagées, dès lors qu'elles permettent d'obtenir la forme de noyau étroite, allongée et symétrique qui permet le meilleur développement des forces d'Ampère et qui, du fait de sa cohésion propre, se prête bien à la propulsion en hypervitesse en direction des cibles de matière fusible.

20 L'hypervitesse obtenue en sortie du tube dépend essentiellement de l'intensité efficace du courant de décharge et de l'énergie fournie par cette décharge.

25 La quantité de mouvement du demi-noyau expulsé est donnée par la relation :

$$m.v = \int_0^{\infty} F.dt = \mu_0 k \int_0^{\infty} i^2 dt$$

30 m étant la masse du demi-noyau traversé par le courant, v étant la vitesse atteinte par ce demi-noyau en fin de décharge, et k étant le facteur de proportionnalité entre la force et le carré du courant ($F = \mu_0 k.i^2$).

Si l'on considère l'expression de la décharge impulsionnelle de courant donnée par :

35

$$i = I_0 e^{-t/T} \sin \Omega t, \quad 19$$

I_0 étant l'intensité efficace du courant de décharge,

5 T étant la constante de temps de décharge (avec $T = L/2R$, L étant l'inductance effective et R la résistance effective du circuit d'alimentation), et

Ω étant la pulsation de l'onde de décharge (Ω étant très peu différente de $(LC)^{-1/2}$, C étant la capacité effective du circuit d'alimentation),

10 il vient :

$$m.v = \mu_0 k \int_0^{\infty} (I_0 e^{-t/T} \sin \Omega t)^2 dt,$$

soit :

$$15 \quad m.v = \mu_0 k . I_0^2 (T/4).$$

On peut estimer la valeur de k à partir des expériences relatées par Graneau dans ses publications, et qui donnent une valeur de l'ordre de 200 N/A^2 pour une alimentation dissymétrique, alors
20 qu'une alimentation symétrique permettrait d'atteindre des valeurs de k de l'ordre de 5.10^3 à 6.10^3 N/A^2 .

On retiendra dans la suite pour k cette valeur, bien qu'en fait elle corresponde à une structure non optimisée du canon à arc dans l'eau (configuration asymétrique avec un tube borgne, dont on a expliqué
25 plus haut qu'elle n'était pas optimale).

C'est ainsi que, pour de la matière fusible ayant une vitesse typique de l'ordre de celle des agrégats accélérés dans l'expérience de Brookhaven précitée (300 keV, correspondant à environ 145 km/s pour 150 deutons), pour une masse de matière fusible typique de
30 50 mg l'expression de I_0 est :

$$I_0 = 1,22.10^3 / T^{1/2} \text{ A.}$$

Avec une constante de temps $T = 10^{-4} \text{ s}$, on aura $I_0 = 1,22.10^5 \text{ A}$,
35 et l'énergie cinétique du noyau de matière fusible est alors de

20

500 kJ. Si l'on suppose un rendement typique de 20 %, ce sont 2,62 MJ qu'il faut injecter à chaque cycle dans le circuit d'alimentation. Si cette quantité de 50 mg s'avérait difficile à introduire dans le tube 10 vu l'importance relative des forces capillaires, il faudrait choisir une quantité plus importante de matière fusible, mais alors l'énergie à injecter serait beaucoup plus forte. Par exemple, avec $m = 1$ g, la valeur de I_0 atteindrait $2,45 \cdot 10^6$ A et, l'énergie cinétique étant égale à 10 MJ, l'énergie à injecter serait d'environ 50 MJ compte tenu du même rendement de 20 %.

Les valeurs citées sont des valeurs typiques minimales. Il faut vraisemblablement prévoir, pour obtenir un rendement optimal, des vitesses environ dix fois plus élevées, donc des courants environ trois fois plus élevés et des énergies cent fois plus fortes. Il y a donc une limite pratique pour la masse à éjecter du tube 10, mais les valeurs citées sont tout à fait compatibles avec la technologie actuelle des stockages capacitifs, par exemple ceux réalisés sous la forme du montage de Marx.

On va maintenant décrire, en référence à la figure 5, une installation de production d'énergie réalisée conformément aux enseignements de l'invention.

Cette installation comporte, essentiellement, deux chambres de combustion 17 semblables, d'épaisseur suffisante pour confiner l'explosion produite par la réaction de fusion.

Ces deux chambres communiquent par l'intermédiaire d'un canal formé par le tube 10 qui est le même que celui décrit figure 4, avec ses électrodes 11 et 12 et son circuit d'alimentation 13.

On va pouvoir ainsi éjecter dans chacune des chambres 20, dans lesquelles on a réalisé un vide primaire, les demi-noyaux N_1 et N_2 dont on a expliqué plus haut le rôle en référence à la figure 4.

Pour former le noyau de départ N_0 , on va injecter deux demi-noyaux N_{01} et N_{02} dans le canal de communication au moyen de canons à arc dans l'eau respectifs 30, par une ouverture 31 diamétralement opposée à l'ouverture homologue 17 du canal de communication.

On va également éjecter dans la chambre de combustion les volu-

54

mes de matière fusible, produits par des canons à arc dans l'eau respectifs 40 sous forme de noyaux N_3 et N_4 éjectés par des ouvertures 41 dirigées vers le centre 21 de la chambre de combustion, qui constituera le point de collision entre les noyaux N_1 et N_3 (ou entre N_2 et N_4), c'est-à-dire le point où se produira la réaction de fusion.

On pourrait prévoir d'éjecter les noyaux N_{01} et N_3 (et N_{02} et N_4) par un seul et même canon à arc dans l'eau, mais comme ces éjections doivent se succéder à intervalles relativement brefs, l'éjection par un même canon apparaît difficile. D'ailleurs, l'emploi d'un même canon à arc dans l'eau n'est pas compatible avec l'emploi de noyaux de matière fusible N_{01} et N_3 de masses et de volumes différents. En outre, l'inégalité de masse entre les noyaux N_{01} et N_3 (et N_{02} et N_4), *a priori* possible, rend une telle option peu intéressante.

C'est pourquoi on préfère utiliser deux canons spécifiques 30, 40, la position du canon 40 n'étant d'ailleurs pas critique. L'angle α de l'axe du canon 40 par rapport à l'axe du tube 10 est de préférence assez faible, de l'ordre de 10° , la seule contrainte étant en fait que les noyaux N_3 et N_4 se trouvent bien au centre 21 de la chambre de combustion, donc dans l'axe du tube 10, au moment où les deux noyaux N_1 et N_2 arrivent à ce même point central 21.

Les canons 30 et 40 peuvent être des dispositifs du même type que celui décrit par Graneau dans le document précité, mais dans lesquels on remplace le projectile par une simple gouttelette de matière fusible.

Chacun de ces dispositifs peut comprendre, à titre indicatif et non limitatif, comme illustré plus en détail figure 6, un tube métallique 32 constituant une première électrode, dans lequel on introduit de l'eau lourde ou un mélange d'eau lourde et d'eau tritiée par une conduite d'injection 33. Le fond du tube comporte une tige axiale 34 formant seconde électrode, isolée du tube par un manchon approprié 35. La tige 34 est reliée à une plaque de base 36, et l'on relie le tube 32 et la plaque de base 36 aux deux armatures d'un condensateur 37 sélectivement mis en circuit par un commutateur 38.

La fermeture de ce commutateur va provoquer la décharge, dans la gouttelette introduite par la canalisation 33, de l'énergie accumu-

22
lée dans ce condensateur 37 et l'éjection corrélative de cette goutte-
lette hors du tube 32, sous forme d'un noyau, vers le volume inté-
rieur de la chambre de combustion 20, via une ouverture respective
31 ou 41.

5 On va maintenant décrire la séquence de fonctionnement de cette
installation.

Tout d'abord, les deux canons à arc dans l'eau 30 injectent dans
les chambres de combustion les deux demi-noyaux de matière fusi-
ble N_{01} et N_{02} , à des vitesses identiques. En se rejoignant dans le
10 couloir de communication du tube 10, ceux-ci vont former le noyau
de matière fusible N_0 .

Ensuite, on injecte par les canons à arc dans l'eau 40 deux autres
noyaux N_3 et N_4 destinés à former la cible de matière fusible. L'ins-
tant et la vitesse de l'éjection sont tels que ces noyaux N_3 et N_4 se
15 trouvent pratiquement chacun au centre 21 de la chambre au
moment de la rencontre des noyaux N_{01} et N_{02} dans le couloir de
communication.

Le noyau N_0 formé dans le tube reçoit alors la décharge du stoc-
20 kage capacitif (fermeture de l'interrupteur 16), ce qui va le scinder à
nouveau en deux demi-noyaux N_1 et N_2 propulsés à très grande
vitesse vers les noyaux N_3 et N_4 qui se trouvent aux centres 21 des
chambres de combustion.

Les collisions N_1-N_3 et N_2-N_4 vont alors se produire en ces points
21, déclenchant la réaction de fusion. Le plasma à haute tempéra-
25 ture résultant de cette réaction sera évacué pour utilisation par les
buses 22.

Afin de réduire l'érosion due aux neutrons et aux gammas pro-
duits par la fusion, on prévoit un dispositif d'aspersion créant de
façon transitoire un écran d'un liquide ralentisseur de neutrons L
30 (typiquement, de l'eau H_2O) interposé entre la paroi de la chambre
de combustion et le point d'explosion (le centre 21 de la chambre de
combustion).

Ce dispositif d'aspersion est composé avantageusement d'une
pluralité de canons à arc dans l'eau 50, semblables dans leur struc-
35 ture aux canons à arc dans l'eau 30 et 40 décrits en référence à la

figure 6. et servant à éjecter par des ouvertures 51 des noyaux d'eau H_2O au moment de la collision au point 21, de manière à venir former un écran continu autour de ce point.

Les déclenchements des canons à arc dans l'eau 30 et 40 et ceux des canons à arc dans l'eau 50 injectant l'écran d'eau devront être convenablement décalés dans le temps de façon que cet écran intercalaire soit homogène.

En outre, comme illustré figure 7, il est possible et avantageux de multiplier les dispositifs d'injection d'eau et d'aspersion.

Plus précisément, sur cette figure on a prévu de former un écran dédoublé E_1 , E_2 , dont la partie E_1 (par exemple à symétrie approximativement cylindrique) est créée à l'aide des canons à arc dans l'eau 50 dont les tubes sont répartis régulièrement à la périphérie de la chambre, un tel dispositif assurant une mise en place précise, dans l'espace, de l'eau constituant l'écran, et dont la partie E_2 , située sur la surface de la chambre, peut être avantageusement créée à l'aide d'eau sous pression admise dans la chambre par un nombre approprié de vannes rapides ouvrant des conduites 55 d'injection d'eau. Ces conduites, pourvues de buses débouchant sensiblement tangentiellement à la paroi de la chambre, sont, ici encore, réparties régulièrement à la périphérie de la chambre selon une symétrie cylindrique autour de l'axe des électrodes.

La récupération de l'énergie dégagée par la réaction de fusion pourra se faire de plusieurs manières.

Une première manière consiste à récupérer l'énergie par voie thermodynamique.

À cet égard, outre son rôle de protection des parois de la chambre de combustion, l'écran d'eau interposé entre le plasma de fusion et la paroi de la chambre de combustion peut également servir à récupérer l'énergie produite transportée par les particules, sous-produit des réactions de fusion. L'interaction avec ces particules va alors créer un plasma plus froid qui sera utilisable sans induire de problème d'usure excessive, par exemple dans un échangeur thermique de structure classique.

On notera que, du fait de la température élevée de la source

24

chaude (l'eau de l'écran échauffée par la réaction de fusion). on peut obtenir un excellent rendement thermodynamique.

5 Une seconde manière de récupérer l'énergie produite par la réaction de fusion consiste à utiliser la haute température du plasma dans la buse d'échappement 22 pour dissocier (avec un rendement extrêmement élevé) de l'eau en hydrogène et oxygène, cette dissociation étant effectuée dans une enceinte entourant la buse d'échappement. L'hydrogène est ensuite séparé de l'oxygène par les méthodes industrielles habituelles.

10 Une troisième manière de récupérer l'énergie, qui peut être d'ailleurs combinée à la voie thermodynamique, consiste à procéder par voie magnétohydrodynamique.

15 On peut alors obtenir directement de l'énergie électrique, de manière en elle-même connue, à partir du plasma éjecté à grande vitesse par la buse d'échappement 22. Un aimant destiné à créer un champ magnétique pour séparer les particules positives et négatives est alors à ajouter au dispositif.

On peut même prévoir un dispositif, illustré schématiquement figure 8, permettant de produire un courant alternatif pulsé.

20 Le dispositif de base est conforme au principe décrit par la figure 8. Un aimant de type dipôle 60 est placé sur la buse d'échappement 22 ; créant un champ magnétique perpendiculaire au plan de la figure, il a pour rôle de séparer les charges positives et les charges négatives. Ce dipôle 60 a pour effet qu'un faisceau d'ions positifs 63, ou du moins enrichi en charges positives, est admis dans la tuyauterie 64. Chacun des deux faisceaux 61 et 63 joue le rôle d'un circuit primaire de transformateur, le secondaire 65 étant bobiné sur le circuit magnétique 67 entourant la tuyauterie 62 et le secondaire 66 étant bobiné sur le circuit magnétique 68 entourant la tuyauterie 64. Les dimensions transversales de ces faisceaux sont ajustées à l'aide d'aimants quadrupôles 69.

30 A la sortie du circuit magnétique 67, le dipôle 71 dévie le faisceau enrichi en charge négatives vers un condensateur 73, et à la sortie du circuit magnétique 68, le dipôle 72 dévie le faisceau enrichi en charges positives vers le condensateur 73. Le condensateur 73 est refroidi.

35

25
di par un circuit d'eau 74, et un système de relevage 75 permet la récupération des effluents.

5 Pour retrouver une fréquence du courant habituelle (50 ou 60 Hz), il faut pouvoir assurer un taux de processus injection→ allumage→éjection à la même fréquence. Plusieurs buses du type 22, issues chacune d'une chambre de combustion différente, peuvent débiter dans les tuyauteries 61 et 63. Pour obtenir la bonne fréquence aux secondaires des transformateurs, on règle alors en séquence les instants de fonctionnement des différentes chambres de
10 combustion. Il est en outre possible de combiner plusieurs de ces systèmes pour obtenir un générateur alternatif polyphasé.

15

20

25

30

35

26
REVENDICATIONS

1. Un procédé pour produire de l'énergie de fusion à partir d'une matière fusible, caractérisé en ce qu'il consiste à :
- 5 — introduire dans un tube (10) un noyau liquide (N_0) de matière fusible,
- appliquer à ce noyau de matière fusible une décharge impulsionnelle de courant électrique produisant au sein de celui-ci une pression électrodynamique provoquant son expulsion (N_1 , N_2) en hypervitesse hors du tube,
- 10 — faire entrer le noyau ainsi expulsé en collision avec un volume de matière fusible (N_3 , N_4) pour déclencher une réaction de fusion, et
- récupérer l'énergie produite par cette réaction de fusion.
- 15 2. Le procédé de la revendication 1, dans lequel le noyau de matière fusible (N_0) est introduit dans le tube par injection dans ce tube.
- 20 3. Le procédé de la revendication 2, dans lequel l'injection du noyau de matière fusible (N_0) dans le tube a lieu par introduction simultanée de deux demi-noyaux (N_{01} , N_{02}) à l'intérieur du tube (10) par les deux extrémités opposées respectives de ce tube.
- 25 4. Le procédé de la revendication 1, dans lequel le volume de matière fusible (N_3 , N_4) est amené au point de collision (21) avec le noyau de matière fusible (N_1 , N_2) par éjection en direction de ce point.
- 30 5. Le procédé de la revendication 1, dans lequel, avant déclenchement de la réaction de fusion, on forme un écran autour du point de collision (21) du noyau avec le volume de matière fusible.
- 35 6. Le procédé de la revendication 5, dans lequel, pour former ledit écran, on éjecte un liquide ralentisseur de neutrons (L) en direction

du point de collision.

7. Le procédé de la revendication 1, dans lequel la récupération de l'énergie est effectuée par voie thermodynamique à partir de la source chaude constituée par le plasma produit par la réaction de fusion.

8. Le procédé de la revendication 1, dans lequel la récupération de l'énergie est effectuée par voie magnétohydrodynamique à partir du plasma produit par la réaction de fusion.

9. Le procédé de la revendication 1, dans lequel la récupération de l'énergie est effectuée par voie chimique à partir du plasma produit par la réaction de fusion.

10. Un dispositif pour produire de l'énergie de fusion à partir d'une matière fusible par mise en œuvre du procédé de l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend :

- une chambre de combustion (20),
- un tube (10), débouchant dans cette chambre de combustion,
- des moyens pour introduire dans ce tube un noyau de matière fusible,
- des moyens (11, 12, 13) pour appliquer à ce noyau de matière fusible une décharge impulsionnelle de courant électrique produisant au sein de celui-ci une pression électrodynamique provoquant son expulsion (N_1 , N_2) en hypervitesse, hors du tube, dans la chambre de combustion,
- des moyens pour placer un volume de matière fusible (N_3 , N_4) dans la trajectoire du noyau ainsi expulsé, de manière à faire entrer en collision le noyau de matière fusible et le volume de matière fusible pour déclencher une réaction de fusion, et
- des moyens pour récupérer l'énergie produite par cette réaction de fusion.

11. Le dispositif de la revendication 10, dans lequel la décharge

impulsionnelle est appliquée par une ²⁸ paire de bornes (11, 12) isolées du tube (10) et disposées aux deux extrémités de celui-ci sur des génératrices diamétralement opposées, de manière à produire au sein de la matière fusible (N_0) introduite dans le tube des lignes de courant essentiellement orientées selon l'axe de celui-ci.

12. Le dispositif de la revendication 10, dans lequel les moyens pour introduire dans le tube le noyau de matière fusible comprennent des moyens (30) pour éjecter ce noyau en direction de ce tube.

13. Le dispositif de la revendication 10, dans lequel le tube (10) est un tube, ouvert à ses deux extrémités (17, 17), débouchant de chaque côté sur une chambre de combustion (20, 20), chacune des chambres de combustion possédant ses propres moyens (40) pour placer un volume de matière fusible dans la trajectoire du demi-noyau respectif expulsé afin de déclencher par collision une réaction de fusion.

14. Le dispositif des revendications 12 et 13 prises en combinaison, dans lequel les moyens pour introduire dans le tube le noyau de matière fusible comprennent des moyens (30) pour introduire simultanée deux demi-noyaux (N_{01} , N_{02}) à l'intérieur du tube (10) par les deux extrémités opposées (17, 17) respectives de ce tube.

15. Le dispositif de la revendication 12 ou de la revendication 14, dans lequel les moyens (30) pour éjecter le noyau ou les demi-noyaux de matière fusible en direction du tube comprennent un canon à arc dans l'eau.

16. Le dispositif de la revendication 10, dans lequel les moyens pour placer le volume de matière fusible (N_3 , N_4) dans la trajectoire du noyau (N_1 , N_2) comprennent des moyens (40) pour éjecter ce volume en direction du noyau expulsé par le tube.

35

1/5

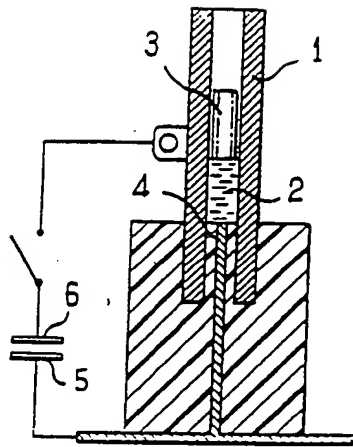


FIG. 1

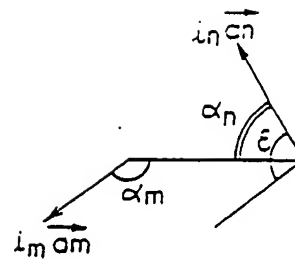


FIG. 2

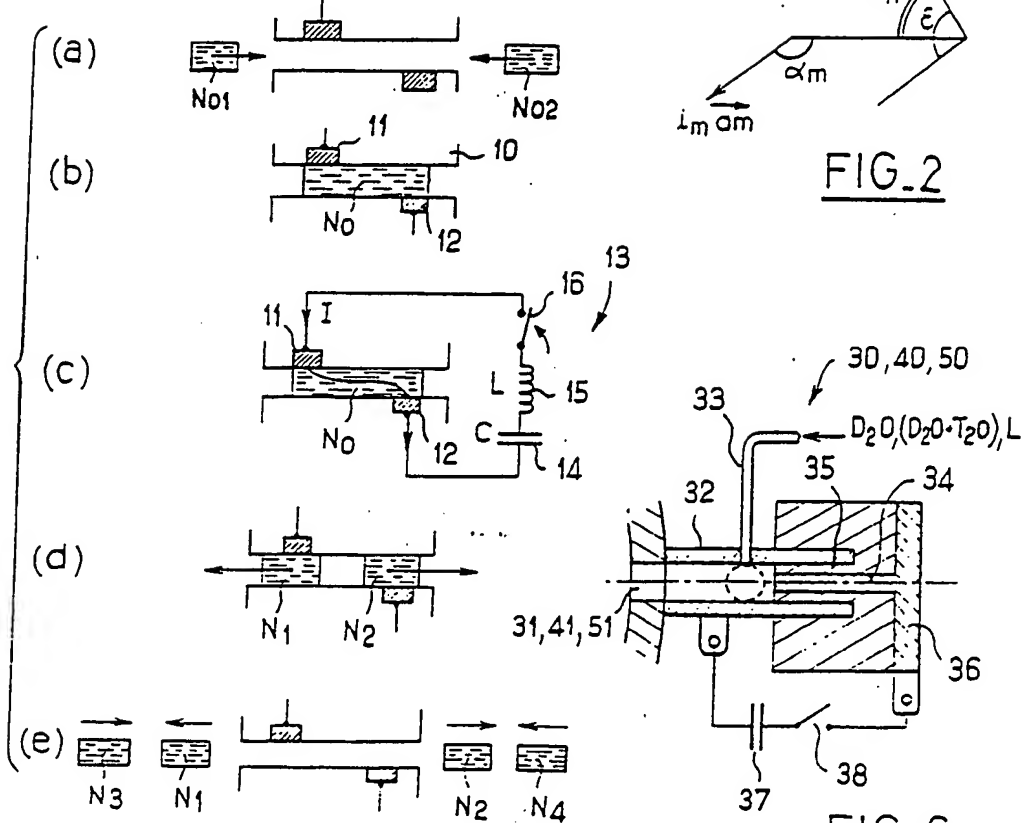


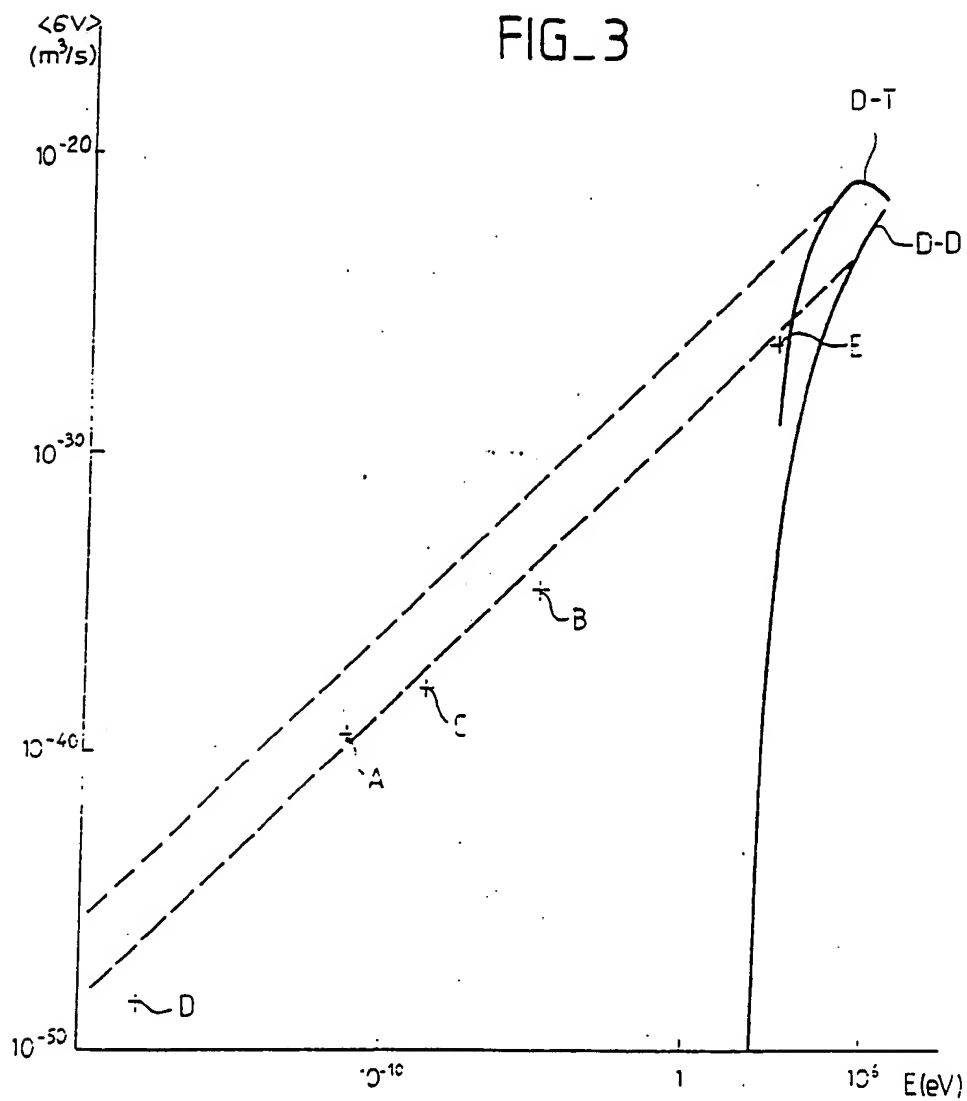
FIG. 4

FIG. 6

FEUILLE DE REMPLACEMENT

2/5

FIG_3



FEUILLE DE REMPLACEMENT.

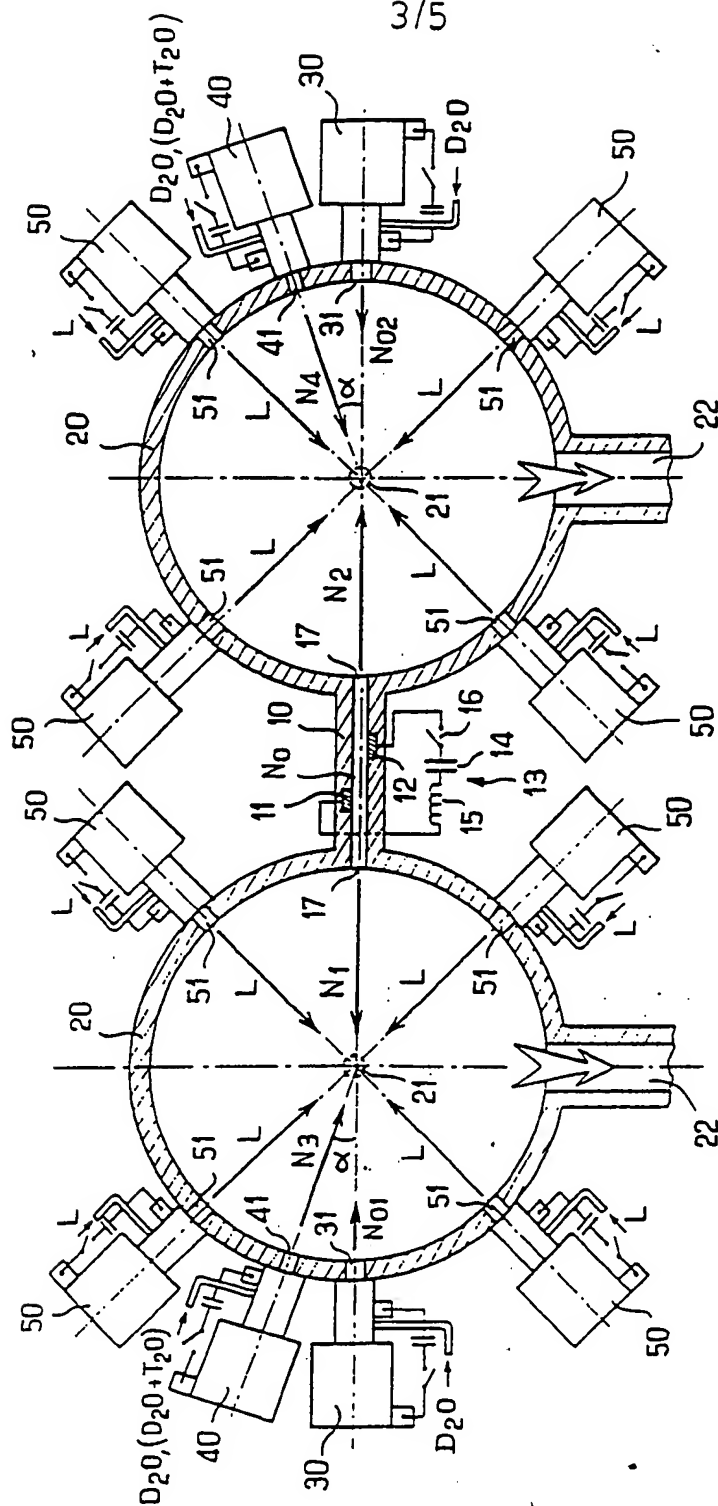
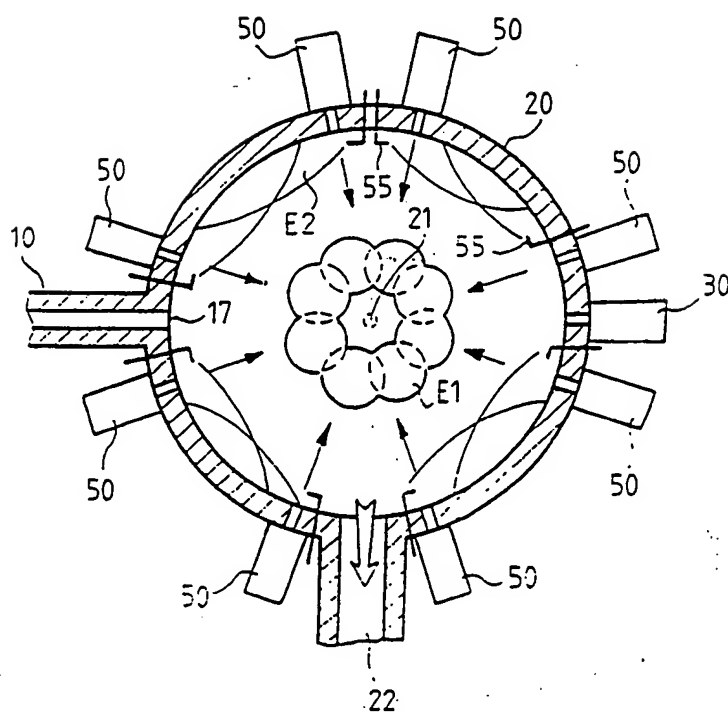


FIG. 5

FEUILLE DE REMPLACEMENT

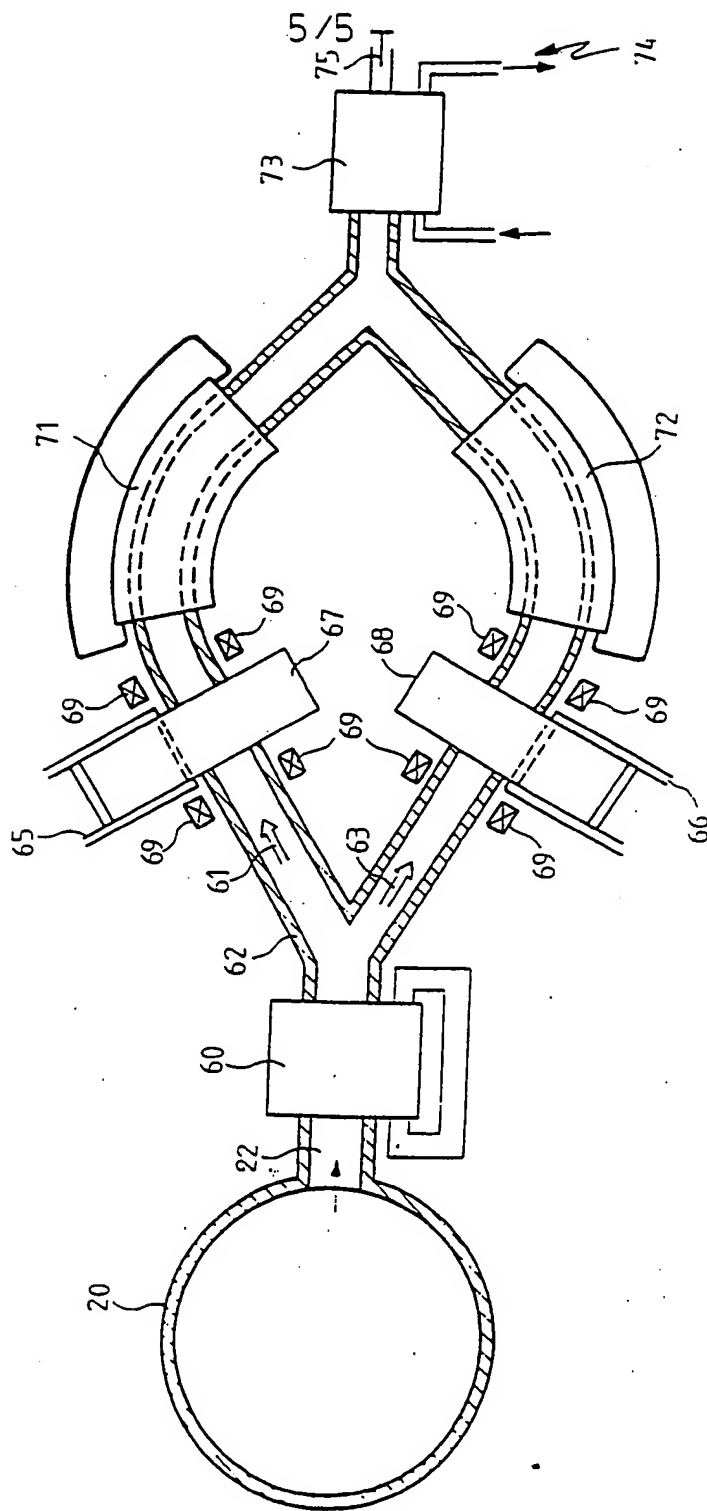
4/5

FIG. 7



FEUILLE DE REMPLACEMENT.

FIG_8



FEUILLE DE REMPLACEMENT

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/FR 91/00305

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) *

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC

Int. Cl.⁵ G 21 B 1/00

II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched †

Classification System	Classification Symbols
Int. Cl. ⁵	G 21 B, H 05 H

Int. Cl.⁵ G 21 B, H 05 H

Documentation Searched other than Minimum Documentation
to the extent that such Documents are included in the Fields Searched *

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT †

Category *	Citation of Document, †† with indication, where appropriate, of the relevant passages †‡	Relevant to Claim No. †‡
A	Nature, vol. 341, No. 12, 12 October 1989, (Londres, GB) B.V. Derjaguin et al.: "Titanium fracture yields neutrons?", page 492, see the whole article (cited in the application)	1,10
A	Physical Review Letters, vol. 63, No. 12, 18 September 1989, (New York, US) R.J. Beuhler et al.: "Cluster- impact fusion", pages 1291-1295, see page 1292; figure 1 (cited in the application)	1,10
A	Journal of Electroanalytical Chemistry, vol. 261, 1989, Elsevier Sequoia S.A. (NL) M. Fleischmann: "Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium", pages 301-308, see pages 301-302	1,10
./.		

* Special categories of cited documents: †‡

"A" document defining the general state of the art which is not
considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international
filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or
which is cited to establish the publication date of another
citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or
other means

"P" document published prior to the international filing date but
later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date
or priority date and not in conflict with the application but
cited to understand the principle or theory underlying the
invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention
cannot be considered novel or cannot be considered to
involve an inventive step

"Y" document of particular relevance; the claimed invention
cannot be considered to involve an inventive step when the
document is combined with one or more other such docu-
ments, such combination being obvious to a person skilled
in the art.

"Δ" document member of the same patent family

IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the International Search

19 July 1991 (19.07.91)

International Searching Authority

EUROPEAN PATENT OFFICE

Date of Mailing of this International Search Report

30 September 1991 (30.09.91)

Signature of Authorized Officer

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)

Category *	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to Claim No
A	Nature, vol. 338, 27 April 1989, (Londres, GB) S.E. Jones et al.: "Observation of cold nuclear fusion in condensed matter", pages 737-740	

Form PCT/ISA/210 (extra sheet) (January 1985)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale N° PCT/FR 91/00305

I. CLASSEMENT DE L'INVENTION (si plusieurs symboles de classification sont applicables, les indiquer tous) ⁷		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
CIB ⁵ : G 21 B 1/00		
II. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTÉ		
Documentation minimale consultée ⁸		
Système de classification	Symboles de classification	
CIB ⁵	G 21 B, H 05 H	
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où de tels documents font partie des domaines sur lesquels la recherche a porté ⁹		
III. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS ¹⁰		
Catégorie [*]	Identification des documents cités, ¹¹ avec indication, si nécessaire, des passages pertinents ¹²	N° des revendications visées ¹³
A	Nature, volume 341, no. 12, 12 octobre 1989, (Londres, GB) B.V. Derjaguin et al.: "Titanium fracture yields neutrons?", page 492, voir l'article en entier cité dans la demande	1,10
A	Physical Review Letters, volume 63, no. 12, 18 septembre 1989, (New York, US) R.J. Beuhler et al.: "Cluster-impact fusion", pages 1291-1295, voir page 1292; figure 1 cité dans la demande	1,10
A	Journal of Electroanalytical Chemistry, volume 261, 1989, Elsevier Sequoia S.A. (NL) M. Fleischmann: "Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium", pages 301-308, voir pages 301-302	1,10
A	Nature, volume 338, 27 avril 1989, ./	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>[*] Catégories spéciales de documents cités: ¹¹</p> <p>« A » document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>« E » document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>« L » document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>« O » document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>« P » document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>« T » document ultérieur publié postérieurement à la date de dépôt international ou à la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>« X » document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive</p> <p>« Y » document particulièrement pertinent: l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier.</p> <p>« & » document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div>		
IV. CERTIFICATION		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <div style="text-align: center;">19 juillet 1991</div>	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <div style="text-align: center;">30.09.91</div>	
Administration chargée de la recherche internationale <div style="text-align: center;">OFFICE EUROPEEN DES BREVETS</div>	Signature du fonctionnaire autorisé <div style="text-align: center;"> Nuria TORIBIO </div>	

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (Janvier 1985)

III. DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		(SUITE DES RENSEIGNEMENTS INDICUÉS SUR LA DEUXIÈME FEUILLE)
Catégorie *	Identification des documents cités, avec indication, si nécessaire, des passages pertinents	N° des revendications visées *
	(Londres, GB) S.E. Jones et al.: "Observation of cold nuclear fusion in condensed matter", pages 737-740 -----	

Formulaire PCT/ISA/210 (feuille additionnelle) (Janvier 1985)